E/CONF.39/A/323
2 Nov.1962
ORIGINAL : RUSSIAN

КОНФЕРЕНЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
ПО ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ НАУЧНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ
ДЛЯ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ МЕНЕЕ РАЗВИТЫХ РАЙОНОВ

ПУНКТ ПОВЕСТКИ ДНЯ: A.3.2.2

СССР

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И СЛУЖБА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ О НАВОДНЕНИЯХ В СССР

Составил Е. Г. ПОПОВ.

Документы, составленные для Конференции Организации Объединенных Наций по вопросу о применении научных и технических знаний для удовлетворения потребностей менее развитых районов, служат в качестве рабочих документов для этой Конференции. Они опубликованы в том виде, в каком были представлены их составителями, и их содержимое и выраженные в них мнения принадлежат их составителям (см. примечания на оборотной стороне).

ПРИМЕЧАНИЯ

1. Документы, включенные в число материалов, принятых для обсуждения на общих сессиях, будут в распоряжении делегатов Конференции на следующих официальных языках Организации Объединенных Наций: русском, английском, испанском и французском.

2. Документы, включенные в число материалов, принятых для обсуждения на специализированных сессиях, будут в распоряжении делегатов Конференции только на одном из этих официальных языков.

3. Резюме всех документов в том виде, в каком они были представлены их составителями, будут в распоряжении делегатов Конференции на следующих официальных языках Организации Объединенных Наций: русском, английском, испанском и французском.

4. До открытия Конференции документы и резюме не будут выпущены для общего распространения. Они будут опубликованы заблаговременно только в ограниченном числе экземпляров и исключительно для правительственных делегаций и других правомочных участников. Последующие опубликование и рассылка трудов Конференции будут обеспечены в соответствии с практикой Организации Объединенных Наций, как это установлено ее Издательским комитетом.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ

И СЛУЖБА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ О НАВОДНЕНИЯХ В СССР

Е.Г.Попов.

В с т у п л е н и е.

Гидрологические прогнозы - один из важнейших аспектов прикладной гидрологии.Осветить с исчерпывающей полнотой все вопросы этой широкой научной проблемы в кратком докладе не представляется возможным.Цель доклада - дать общее представление о значении гидрологических прогнозов в народном хозяйстве,о важнейших видах прогнозов и их методической основе,о принципах оценки эффективности методики прогнозов,об организации службы гидрологических прогнозов.

I.Гидрологические прогнозы и их значение в народном хозяйстве.

Жизнь,хозяйственная и культурная деятельность людей настолько тесно связаны с использованием природных вод,что повседневное знание их состояния и предвидение изменений в их режиме,в том числе предвидение опасных явлений,стали необходимостью.

Особое значение гидрологические прогнозы приобретают в плановом социалистическом народном хозяйстве.Они необходимы для планирования выработки электроэнергии и назначения режима работы искусственных водохранилищ,для планирования работы водного транспорта,размеров посевных площадей и распределения воды между ирригационными системами и отдельными хозяйствами.Большое значение гидрологические прогнозы имеют также для борьбы с опасными явлениями на реках.Своевременные предупреждения о наводнениях или маловодье рек позволяют принять необходимые меры для спасения жизни людей и материальных ценностей,а также свести к минимуму ущерб,приносимый этими стихийными бедствиями.Возможность предвидеть на основании прогнозов об"ем и максимальные расходы паводков позволяет более экономно проектировать системы регулирования стока и уменьшать размеры водопропускных сооружений и тем снижать их стоимость.Это имеет особенно большое значение при создании водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования стока на больших реках.

Гидрологический прогноз представляет собой предвычисление того или иного элемента режима,основанное на знании закономер-

ностей развития гидрологических процессов в конкретных условиях данной реки или озера. В отличие от таких наук, как физика и химия, в основе развития которых лежит лабораторный эксперимент, гидрология имеет дело с процессами, протекающими на громадных пространствах поверхности земли, в некотором ее толще и в атмосфере. Это затрудняет производство наблюдений и изучение гидрологических процессов и не позволяет учитывать в прогнозах все их многообразие и неравномерность по территории и во времени. По этой причине предвычисление интересующих нас элементов гидрологического режима не может быть однозначным и каждый прогноз должен содержать указания на вероятность различных значений предвычисляемых переменных.

Экономическая эффективность гидрологических прогнозов повышается с увеличением их заблаговременности и точности. Чем больше заблаговременность и точность прогнозов, тем больший экономический эффект дает их использование в планировании. Что касается предупреждений о наводнениях, то их эффективность остается высокой даже при относительно малой заблаговременности. Точность гидрологических прогнозов, как правило, снижается по мере увеличения заблаговременности. Поэтому большое значение для народного хозяйства имеет система последовательного уточнения прогнозов по мере уменьшения заблаговременности. Такая система уточнений позволяет корректировать ранее составленные планы, учитывая более точные прогнозы.

2. Характер и виды гидрологических прогнозов.

Характер и виды гидрологических прогнозов определяется тремя факторами: а/ спецификой отраслей народного хозяйства, в/ характером питания и режимом рек и озер, с/ наличием исходных данных и методическими возможностями предвычисления. Потребность в прогнозах сама связана с особенностями режима, поэтому наиболее важными для службы гидрологических прогнозов являются требования различных отраслей народного хозяйства к заблаговременности и точности прогнозов. Для целей годового планирования, эти требования, как правило, превышают реальные возможности предвычисления, поэтому, фактическая заблаговременность и точность прогнозов чаще всего определяется возможностями методов предвычисления.

Не имея возможности рассмотреть все виды выпускаемых в СССР гидрологических прогнозов, укажем лишь те основные признаки, по которым возможна их классификация. Такими признаками являются: а/ заблаговременность, в/ элементы режима, с/ методика предвычисления, d/ целевое назначение прогнозов.

По признаку заблаговременности гидрологических, прогнозы делятся на долгосрочные и краткосрочные. К числу краткосрочных прогнозов условно относятся прогнозы, заблаговременность которых не превышает 15 дней. В зависимости от возможностей предвычисления, долгосрочные прогнозы имеют заблаговременность от 1 до 6 месяцев, а в отдельных благоприятных условиях до 12-ти месяцев. По элементам режима, гидрологические прогнозы можно разделить на а/ прогнозы элементов водного режима и в/ ледовые прогнозы. Последние включают долгосрочные и краткосрочные прогнозы сроков замерзания и вскрытия рек, озер и водохранилищ. Гидрологические прогнозы можно различать также в зависимости от их методики. По этому признаку, который определяет характер

необходимой для предвычисления информации, можно выделить: а/прогнозы, основанные на анализе процессов, происходящих в бассейне реки /поступление воды на поверхность, ее поглощение и стекание/, в/ прогнозы, основанные на знании закономерностей движения воды в русле, с/ прогнозы, методика которых основана на анализе метеорологических процессов. К таким прогнозам относятся, например, долгосрочные прогнозы сроков замерзания и вскрытия рек и некоторые другие. По целевому назначению наиболее важное значение имеют прогнозы для гидроэнергетики, водного транспорта и сельского хозяйства. Прогнозы наивысших уровней паводков представляют интерес для всех отраслей народного хозяйства и населения.

В настоящее время в СССР регулярно выпускается около 20 видов гидрологических прогнозов. Прогнозы выпускаются для участков рек и отдельных пунктов на реках, озерах и водохранилищах. Общее число долгосрочных прогнозов составляет свыше 10 тыс. в год. Число краткосрочных прогнозов превышает 120 тыс. в год.

Характерной особенностью режима рек СССР, имеющих равнинные водосборы, является весеннее половодье, обусловленное быстрым таянием скопившегося за зиму снега. Расходы воды в реках в этот период возрастают во много раз. Весенний сток многих рек составляет 50-70, а в отдельных районах до 90 процентов годового стока. В многоводные годы весеннее половодье сопровождается большими разливами рек и наводнениями. Для рек с высокогорными водосборами, характерно резкое увеличение расходов воды летом. Период больших расходов, составляет здесь около 5 месяцев. В течение этого времени, в соответствии с колебаниями температуры воздуха и выпадением дождей, наблюдается ряд следующих друг за другом паводков. В районах с большим количеством летних и осенних осадков, наблюдаются дождевые паводки, которые нередко сопровождаются разливами, а иногда наводнениями. Резкие колебания расходов, уровней воды и стока от паводка к паводку и от года к году, а также сроков замерзания и вскрытия рек, усиливают потребность в гидрологических прогнозах.

Прогнозы для гидроэнергетики. Для гидроэлектростанций выпускаются следующие прогнозы: а/ притока воды за сезон, в/ притока воды за три и один календарный месяц, с/ прогнозы наибольшего расхода половодья. Прогнозы весеннего стока равнинных рек выпускаются в конце февраля, когда запас воды в снежном покрове приближается к максимуму. Прогнозы притока за три и один месяц выпускаются 25 числа предшествующего месяца и используются для корректировки квартальных и месячных планов выработки энергии .

Прогнозы водного транспорта. Кроме перечисленных выше прогнозов, которые также интересуют водный транспорт, для судоходства выпускаются прогнозы сроков замерзания и вскрытия рек, а в период навигации, прогнозы средних и минимальных месячных уровней воды, а также краткосрочные прогнозы уровней заблаговременностью от 5 до 15 дней. По рекам, где судоходство возможно только в период половодья, выпускаются прогнозы продолжительности периода, в течение которого уровень воды превышает критический для судоходства.

Прогнозы для сельского хозяйства. Основными прогнозами для ирригации, являются прогнозы средних расходов воды за вегетационный /IУ-IX/ период. Эти прогнозы выпускаются в начале марта и уточняются в начале апреля и мая. Кроме этих прогнозов в период поливов, регулярно выпускаются прогнозы средних месячных и средних

декадных расходов воды, а также краткосрочные прогнозы наибольших расходов отдельных паводков.

3. Методика и форма выпуска прогнозов.

Как все природные явления, гидрологические процессы подчиняются законам физики. Протекая, однако, под влиянием географической среды, эти процессы отличаются исключительным многообразием и неравномерностью по территории и во времени. Это сильно ограничивает возможности измерений, анализа и расчета этих процессов и обусловливает широкое применение в прогнозах методов корреляционного анализа и приближенных решений. В рамках настоящего доклада мы коснемся методики только некоторых наиболее важных прогнозов.

Прогноз весеннего стока. Суммарный сток от таяния снега зависит от запаса воды в снежном покрове к началу таяния и от того, какое количество этой воды будет поглощено и задержано на поверхности речного бассейна. Первый фактор с той или иной степенью точности может быть определен путем измерений, что же касается количества поглощаемой воды, то оно зависит от характера поверхности водосбора, степени водопроницаемости почвы и соотношения между интенсивностью поступления и инфильтрации воды. Непосредственно измерить количество поглощаемой воды чрезвычайно трудно. Величину его, включая потери воды на испарение, можно определить по разности между запасом воды в снежном покрове и стоком.

Теоретической основой прогноза весеннего стока является уравнение водного баланса речного бассейна

$$y = (x - J - P)\cdot\Phi \qquad /1/$$

где y -сток, x -запас воды в снежном покрове, J - суммарная инфильтрация, P - поверхностное задержание, выраженные в мм, Φ - относительная площадь, с которой происходит сток в долях единицы /"действующая площадь"/.

Поверхностное задержание /P/ зависит от рельефа водосбора. Чем более плоский рельеф и чем больше на поверхности водосбора различных депрессий, тем больше поверхностное задержание. Действующая площадь /Φ/ связана с рельефом водосбора и инфильтрационной способностью почв. Для водонепроницаемого водосбора с неравномерным распределением поверхностей емкости переменная является функцией только слоя поступившей воды

$$\Phi(x) = \int_0^s \varphi(s)ds \qquad /2/$$

где s -слой заполнения в мм, а $\varphi(s)$ -функция его распределения по площади. Для водопроницаемого бассейна действующая площадь является функцией разности между количеством поступившей воды и суммарной инфильтрацией $\Phi = f(x - J)$. При $i < h$ $\Phi = f\left[\left(1 - \frac{i}{h}\right)x\right]$

где i -скорость инфильтрации, а h -скорость поступления воды на поверхность бассейна

$$\Phi(x - J) = \int_0^{\left(1-\frac{i}{h}\right)x} \varphi(s)ds \qquad /3/$$

Поверхностное задержание на действующей площади равно

$$P_\Phi = \int_0^{\left(1-\frac{i}{h}\right)x} s\varphi(s)ds \qquad /4/$$

Таким образом, сток, вызванный некоторым количеством поступившей воды x, в общем виде может быть выражен следующим интегральным уравнением

$$y = \left(1 - \frac{i}{h}\right)x \int_0^{\left(1-\frac{i}{h}\right)x} \varphi(s)ds - \int_0^{\left(1-\frac{i}{h}\right)x} s\varphi(s)ds \qquad /5/$$

Скорость инфильтрации, образующейся при таянии снега воды в

мерзлую почву зависит от характера почвы, ее влажности, температуры и глубины промерзания. Все эти факторы, а также запас воды в снежном покрове, с той или иной степенью точности, могут быть оценены на основании данных наблюдений до начала снеготаяния. Это и дает возможность для прогнозов стока. Определить непосредственно для каждого бассейна функцию распределения $\varphi(s)$ очень трудно. Поэтому практически задача решается путем установления эмпирических водно-балансовых зависимостей стока от запаса воды в снежном покрове и индекса водопроницаемости мерзлой почвы $y = f(x, u)$. Последний определяется в зависимости от влажности, температуры и глубины промерзания почвы. Как следует из уравнения /5/, эмпирическая водно-балансовая зависимость стока для отдельного бассейна, автоматически учитывает распределение поверхностей емкости $\varphi(s)$. Уравнение /5/ позволяет теоретически установить какой вид должны иметь такие зависимости при различном характере этого распределения.

Прогнозы дождевого стока. Теоретическая основа прогнозов дождевого стока за период паводка идентична приведенной выше. Однако, практическое решение задачи значительно сложнее из-за большой неравномерности выпадения осадков по территории и высоких скоростей инфильтрации, которые очень часто на большей части водосбора превышают интенсивность дождя. Поэтому, требуется значительно более плотная сеть пунктов плювиографических наблюдений, более детальное знание инфильтрационных свойств различных почв и их распределения в бассейне. В силу этого, обнаружить на эмпирическом материале удовлетворительные с точки зрения точности прогнозов зависимости стока от осадков и других факторов удается только для относительно небольших бассейнов. Расчет распределения /гидрографа/ стока за период паводка основывается на принципе последовательного суммирования масс воды, одновременно достигающих замыкающего створа бассейна, который выражается следующим уравнением:

$$Q_t = \int_0^{\tau} q_{t-\tau} \frac{\partial \omega}{\partial \tau} d\tau, \qquad /6/$$

где Q_t - расход воды на момент времени t, $q_{t-\tau}$ - водоотдача бассейна, $\frac{\partial \omega}{\partial \tau}$ - площадь, с которой вода одновременно достигает замыкающего створа, τ - время.

Имеется довольно много приемов приближенного расчета гидрографа. Из их числа наиболее употребительны метод изохрон и метод элементарного гидрографа.

Долгосрочные прогнозы стока горных рек. Самые благоприятные условия для таких прогнозов имеются там, где основным источником питания рек является сезонный снег, а тепла ежегодно достаточно для полного стаивания этого снега. В таких условиях, между стоком за весенне-летний период и запасом воды в снежном покрове должна, очевидно, существовать тесная зависимость. При наличии данных наблюдений за ряд прошлых лет такую зависимость легко установить эмпирически. Точность ее будет тем выше, чем точнее определяется количество снега в бассейне и сток реки. При постоянной из года в год длительности периода, за который определяется сток /например, IУ-IX/, последний может выражаться как в мм, так и ввиде среднего расхода реки за этот период. Для целей ирригации пользуются, как правило, средним расходом. Имея зависимость $\bar{Q}_{IV-IX} = f(x)$ для определенного бассейна и зная по

данным измерений запас снега в бассейне x, легко определить ожидаемый средний расход реки. Основное затруднение в прогнозах заключается в оценке истинного запаса воды в снежном покрове. Измерение снега в горах связано с большими трудностями и не везде возможно. Поэтому часто в качестве индекса запасов снега в горах приходится использовать данные о количестве осадков за холодный период по станциям, расположенным на различных высотах. В районах с большим количеством летних осадков последние оказывают значительное влияние на сток. Это снижает точность прогнозов, так как при их выпуске в конце зимы летние осадки бывают неизвестны и их приходится учитывать по статистическим данным.

Прогнозы средних месячных расходов воды горных рек, является более сложной проблемой. При этом требуется учитывать, кроме запаса снега, высоту снеговой линии и температуру воздуха в будущем месяце.

Краткосрочные прогнозы речных расходов и уровней. Эти прогнозы в большинстве случаев основываются на использовании закономерностей движения воды и паводочных волн в русловой системе или на отдельном участке реки. Простейшим методом прогноза уровня реки в определенном пункте является метод соответственных уровней. Суть его сводится к определению корреляционной зависимости между уровнями в верхнем по течению и ниже расположенном пунктах реки с учетом времени пробега воды на этом участке. Этот метод дает лучшие результаты на бесприточных и слабо приточных участках рек. Другой часто применяемый метод прогноза уровней, основан на использовании зависимости между расходами и уровнем воды.

$$H_{n+T} = f(\Sigma Q_i, H)_n,$$

где ΣQ_i - сумма расходов рек в верхней части бассейна, H - уровень в нижерасположенном пункте реки в день выпуска прогноза $/n/$, а H_{n+T} - уровень реки в том же пункте через T дней, которое равно среднему времени пробега воды от вышерасположенных пунктов.

Более точные прогнозы расходов и уровней воды, основаны на решении уравнений гидродинамики с помощью быстродействующих электронных счетных машин. В настоящее время разработаны программы, позволяющие вести расчет движения паводочной волны, как для участков рек, так и для водохранилища. Точные методы расчета требуют подробных гидрометрических и морфометрических данных. Это ограничивает их применение в оперативной практике. Более широкое применение имеет приближенный способ расчета, основанный на использовании закономерности трансформации паводочной волны системой одинаковых водохранилищ с линейной зависимостью между расходом и емкостью $W = \tau Q$. Для расчетов используется простая электронномоделирующая машина с записью результатов на ленте. Этот метод применяется, в частности, для прогнозов уровней воды в нижних бьефах гидроэлектростанций.

Ледовые прогнозы. Долгосрочные прогнозы сроков замерзания и вскрытия рек, озер и водохранилищ основываются на установлении корреляционных зависимостей этих сроков от предшествующих атмосферных процессов. Краткосрочные прогнозы замерзания рек основаны на приближенных расчетах охлаждения воды, а прогнозы вскрытия - на расчетах таяния льда и снега. В обоих случаях используется прогноз температуры воздуха на несколько дней вперед.

Форма прогнозов. Все наиболее важные виды прогнозов публикуются в бюллетенях Гидрометеорологической службы. В публикуемых прогнозах указывается математическое ожидание предсказываемой переменной и доверительный интервал 50-процентной вероятности. Кроме этого, для сравнения в прогнозе приводятся также среднее, наибольшее и наименьшее значение предсказываемой переменной за период наблюдений. Для таких отраслей народного хозяйства, как гидроэнергетика и речной транспорт, гидрологические прогнозы выражаются в виде распределения вероятности превышения ожидаемых значений предсказываемой переменной. Для определения доверительных интервалов и распределения вероятности используются известные приемы статистической обработки ошибок прогнозов.

Предупреждения об опасных и неблагоприятных гидрологических явлениях. Предупреждения о таких опасных и неблагоприятных гидрологических явлениях как наводнения, маловодье, заторы льда, необычно раннее и быстрое замерзание судоходных рек, основываются на прогнозах и могут иметь различную заблаговременность. От собственно прогнозов они отличаются тем, что в них даются (по возможности) указания на степень и характер угрозы определенным населенным пунктам, предприятиям, сооружениям, посевам и т.д. В ряде случаев, однако, при отсутствии методики прогноза, предупреждения могут носить качественный характер. Например, с приближением циклона о возможности высоких дождевых паводков на малых реках. Организация эффективной службы предупреждений требует систематизированных сведений об опасных уровнях и расходов воды. Работа по сбору и систематизации этих сведений ведется в СССР в течение многих лет Гидрометеорологической службой в сотрудничестве с различными ведомствами. Наличие каталогов опасных уровней и расходов воды дает возможность конкретизировать предупреждения об угрозе.

Оценка методов прогнозов. Статистическая оценка точности и эффективности методов гидрологических прогнозов является обязательным требованием при их разработке. На основании этой оценки решается вопрос о целесообразности практического использования метода для выпуска прогнозов. Любой метод прогноза может считаться статистически эффективным, а применение его справданным только тогда, когда ошибки прогнозов будут меньше равновероятных отклонений предсказываемой переменной от среднего ее значения. В противном случае применение метода теряет смысл, так как с тем же успехом можно всякий раз ориентироваться на среднее значение переменной. В качестве простейшего критерия статистической эффективности методов долгосрочных гидрологических прогнозов принимается отношение между средней квадратичной ошибкой прогнозов и стандартным отклонением предсказываемой переменной $\frac{\delta}{\sigma}$. Для выпуска прогнозов, используются только такие методы, для которых отношение $\frac{\delta}{\sigma} \leq 0{,}8$. Аналогичный критерий применяется и при оценке методов краткосрочных гидрологических прогнозов.

4. Организация службы гидрологических прогнозов в СССР.

Служба гидрологических и метеорологических прогнозов в СССР организационно об"единены в единую службу гидрометеорологических прогнозов. Работа организована по административно-территориальному принципу с учетом речных бассейнов. В каждом мест-

ном /республиканском или территориальном Бюро погоды имеется сектор гидрологических прогнозов. Такая организация имеет то преимущество, что дает возможность гидрологам работать в непосредственном контакте с метеорологами, использовать в своей работе все необходимые данные метеорологических наблюдений и метеорологические прогнозы, а также повседневно пользоваться консультациями метеорологов. Наличие единой государственной гидрометеорологической службы обеспечивает гармоничное развитие сети наблюдательных станций с учетом нужд метеорологии, гидрологии и агрометеорологии. В обязанности секторов гидрологических прогнозов каждого Бюро погоды входит выпуск прогнозов и обслуживание народно-хозяйственных организаций своего района, разработка методов прогноза, сбор и систематизация данных об опасных уровнях и расходах воды. В целях оперативности гидрометеорологического обслуживания в крупных областных центрах и на крупных гидротехнических стройках функционируют специальные гидрометеорологические бюро, которые ведут работу под руководством территориальных Бюро погоды. Аналогичную работу ведут такие гидрометеорологические обсерватории на крупных озерах и водохранилищах. Научно-методическим центром в области гидрометеорологических прогнозов является Центральный институт прогнозов. Исследовательская работа в области гидрологических прогнозов ведется, кроме того, в ряде зональных институтов Гидрометеорологической службы.

Эффективная деятельность службы гидрологических прогнозов требует определенных условий. К числу их относятся: а/ наличие достаточно развитой сети гидрологических и метеорологических станций, в/ наличие материалов наблюдений за прошлые годы, необходимых для разработки методов прогнозов, с/ наличие достаточного количества специалистов, д/ наличие средств быстрой связи для сбора информации.

Литература

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. – Гидравлические прогнозы. Гидрометеоиздат, 1960.
2. Попов Г.П. Гидрологические прогнозы. Гидрометеоиздат, 1957.
3. Калинин Г.П., Милюков П.И. Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс. Труды ЦИП, вып. 66, 1958.

1534 R - Nov.1962 - 600